

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Matko Čavuzić

Zagreb, 2013.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:
Dr. sc. Vesna Alar, izv. prof.

Student:
Matko Čavužić

Zagreb, 2013.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Matko Čavuzić**

Mat. br.:0035173117

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Zaštita čeličnih konstrukcija vodorazrjedivim premazima**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Protection of metal structures with waterborne coatings**

Opis zadatka:

Zaštita od korozije premazima je osnovna metoda zaštite čeličnih konstrukcija. Sve stroži ekološki zahtjevi, posebno emisije hlapivih organskih otapala u okoliš uvjetovali su sve širu primjenu vodorazrjedivih premaza.

Potrebno je detaljnije obraditi zaštitu od korozije premazima, te izučiti i ukratko prikazati projektiranje sustava zaštite premazima ovisno o korozivnosti okoliša u kojem će konstrukcija djelovati, sukladno normi ISO 12944.

Izučiti literaturu, obraditi i na prikladan način prikazati svojstva i primjenu vodorazrjedivih premaza.

U eksperimentalnom dijelu rada, elektrokemijskom metodom kvazi – potenciostatske polarizacije, odnosno metodom Tafelove ekstrapolacije te snimanjem polarizacijskih krivulja odrediti korozijski potencijal E_{kor} i brzinu korozije čeličnih uzoraka zaštićenih vodorazrjedivim premazima u 3%-tnoj otopini NaCl.

Kritički se osvrnuti na dobivene rezultate i mogućnost primjene analiziranih premaza u zaštiti transportnih vozila.

Zadatak zadan:

16. studenog 2012.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Vesna Alar

Rok predaje rada:

1. rok: 15. veljače 2013.

2. rok: 11. srpnja 2013.

3. rok: 13. rujna 2013.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27., 28. veljače i 1. ožujka 2013.

2. rok: 15., 16. i 17. srpnja 2013.

3. rok: 18., 19., i 20. rujna 2013.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zoran Kunica

SAŽETAK

Završni rad sastoji se od teorijskog dijela u kojemu se obrađuju vrste premaza koji se danas koriste u zaštiti strojarskih konstrukcija i postrojenja, te eksperimentalnog dijela u kojemu se pomoću laboratorijskih ispitivanja uspoređuje ponašanje vodorazrjedivih premaza.

Teorijski dio prikazuje tehnologiju zaštite premazima, pripreme površine, nanošenja premaza, greške u premazima i njihovi uzroci te norma ISO 12944. Posebno poglavlje prikazuje vrste vodorazrjedivih premaza, prednosti i nedostatke vodorazrjedivih premaza, skladištenje, upotreba i nanošenje vodorazrjedivih premaza i vodorazrjedivi premazi s aspekta zdravlja.

U eksperimentalnom dijelu rada elektrokemijskim ispitivanjima određen je korozijski potencijal (E_{kor}), otpor polarizacije (R_p) i brzina korozije (v_{kor}) vodorazrjedivih premaza i nezaštićenog ugljičnog čelika. Rezultati pokazuju da se vodorazrjedivi premazi mogu koristiti za zaštitu ugljičnog čelika koji je izložen C2 korozijskoj sredini prema normi ISO 12944.

SADRŽAJ

SADRŽAJ.....	I
POPIS SLIKA.....	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA.....	IV
1. UVOD.....	1
2. ZAŠTITA OD KOROZIJE ORGANSKIM PREMAZIMA.....	2
2.1. Veziva.....	3
2.2. Pigmenti.....	6
2.3. Punila.....	7
2.4. Otapala.....	7
2.5. Aditivi.....	8
3. TEHNOLOGIJA PRIPREME POVRŠINE ZA NANOŠENJE PREMAZA.....	9
3.1. Priprema površine.....	9
3.1.1. Odmašćivanje.....	9
3.1.2. Odmašćivanje mlazom vodene pare.....	10
3.1.3. Ručno mehaničko čišćenje.....	10
3.1.4. Strojno mehaničko čišćenje.....	10
3.1.5. Vodeno pjeskarenje.....	10
3.1.6. Čišćenje mlazom abraziva.....	11
4. TEHNOLOGIJA NANOŠENJA PREMAZA.....	12
4.1. Greške u premazima i njihovi uzroci.....	15
4.1.1. Pogrešan izbor premaza.....	15
4.1.2. Sastav premaza.....	15
4.1.3. Nanošenje u neodgovarajućim uvjetima.....	16
4.1.4. Greške koje se manifestiraju kroz lošu prionjivost.....	16
4.1.5. Loše nanošenje premaza.....	17
4.1.6. Nedostatak nadzora i kvalitete.....	18
5. NORMA ISO 12944.....	19
6. VODORAZRJEDIVI PREMAZI.....	21
6.1. Povijesni razvoj vodorazrjedivih premaza.....	21
6.2. Uvod.....	21

6.3. Vrste vodorazrjedivih premaza.....	23
6.3.1. Vodene otopine.....	23
6.3.2. Vodene emulzije.....	23
6.3.3. Vodene disperzije.....	24
6.4. Prednosti i nedostaci vodorazrjedivih premaza.....	24
6.5. Skladištenje, upotreba i nanošenje vodorazrjedivih premaza.....	25
6.6. Vodorazrjedivi premazi s aspekta zdravlja i sigurnosti.....	26
7. EKSPERIMENTALNI DIO.....	27
7.1. Elektrokemijsko ispitivanje.....	27
7.2. Priprema za elektrokemijsko ispitivanje.....	28
7.3. Snimanje krivulja E_{kor} u ovisnosti o vremenu.....	29
7.4. Snimanje krivulja linearne polarizacije.....	30
7.5. Snimanje Tafelove krivulje.....	31
7.6. Analiza rezultata.....	33
8. ZAKLJUČAK.....	34
9. LITERATURA.....	35
10. PRILOZI.....	36

POPIS SLIKA

Slika 1. Podjela veziva prema načinu sušenja [3]

Slika 2. Shematski prikaz podjele pigmenata [3]

Slika 3. Sustav zaštite čelika na osnovi nepropusnosti [8]

Slika 4. Prskanje komprimiranim zrakom [9]

Slika 5. Oprema za bezračno prskanje [10]

Slika 6. Oprema za elektrokemijsko ispitivanje [18]

Slika 7. Elektrokemijska ćelija [18]

Slika 8. Uzorci prije ispitivanja [18]

Slika 9. Prikaz korozijskog potencijala uzoraka u ovisnosti o vremenu [18]

Slika 10. Prikaz anodno – katodnih krivulja polarizacije [18]

Slika 11. Uzorci nakon ispitivanja [18]

POPIS TABLICA

Tablica 1. Korozivne kategorije određene standardom ISO 12944 [12]

Tablica 2. Trajanje premaznog sustava određeno standardom ISO 12944

Tablica 3. Sadržaj otapala kod različitih tipova premaza [16]

Tablica 4. Vrijednosti korozijskog potencijala E_{kor}

Tablica 5. Vrijednosti polarizacijskog otpora R_p

Tablica 6. Vrijednosti korozijskih parametara

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
E_{kor}	mV	Korozijski potencijal
R_p	$k\Omega/cm^2$	Otpor polarizacije
j_{kor}	$\mu A/cm^2$	Gustoća struje
β_a	V/dek	Anodna Tafelova konstanta
β_b	V/dek	Katodna Tafelova konstanta
v_{kor}	mm/god	Brzina korozije
ISO		Međunarodna organizacija za normizaciju

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Vesni Alar i svim ostalim djelatnicima Laboratorija za zaštitu materijala na savjetima i pomoći tijekom izrade ovog završnog rada.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima na podršci i razumijevanju iskazanom tijekom mog studiranja.

Matko Čavuzić

1.UVOD

Korozija je proces nenamjernog razaranja konstrukcijskih materijala, uzrokovan fizikalnim, kemijskim i biološkim agensima. To je spontan proces između metala i okoline pri čemu metal teži prema termodinamički stabilnijem stanju. Korozija nanosi ogromne štete gospodarstvu te je ustanovljeno da godišnji troškovi zbog korozije metala, uključujući i mjere za zaštitu od korozije u visokoindustrijaliziranim zemljama iznose oko 3% njihova bruto nacionalnog dohotka. To su direktni troškovi korozija, a postoje i indirektni koji obuhvaćaju sekundarne štete nastale zbog korozije (nesreće, ugroženost zdravlja ljudi, gubici u proizvodnji, teške ekološke katastrofe i drugo). Istraživanja su pokazala da se četvrtina šteta od korozije može spriječiti upotrebom suvremenih tehnologija zaštite [1].

Korištenjem raznih antikorozijskih tehnologija nastojimo povećati fizikalne i kemijske otpore korozije te time usporiti tijek korozijskog procesa.

Najčešći načini zaštite od korozije su:

1. **Elektrokemijska zaštita** (anodna i katodna)
2. **Zaštita obradom korozivne sredine** (uklanjanjem aktivatora korozije i dodavanjem inhibitora u agresivnu sredinu)
3. **Zaštita prevlakama** (metalne prevlake, anorganske nemetalne prevlake i organske prevlake)
4. **Oblikovanjem i konstrukcijskim rješenjima**
5. **Odabirom korozijski postojanih materijala**

2. ZAŠTITA OD KOROZIJE ORGANSKIM PREMAZIMA

Više od 80% metalnih konstrukcija izloženo je atmosferskom korozivnom djelovanju. Zaštita metala premazima jedan je od najzastupljenijih postupaka zaštite u tehnici, čak 75% metalnih površina zaštićeno je organskim premazima. Jedan od osnovnih razloga tome je relativno niska cijena u odnosu na druge metode zaštite od korozije. Premazi se osim u zaštitne svrhe koriste i u dekorativne svrhe, pa tako postoje bezbojni, mutni, sjajni, mat i različito obojani premazi, a moguće je postići i efekt sjajnog ili kovanog metala. Postoje i razni specijalni premazi raznolike funkcije, kao na primjer: premazi za električnu izolaciju, antivegetativni premazi za zaštitu podvodnih konstrukcija, kitovi, premazi za označavanje, protupožarni premazi, itd. [1].

Osnovni cilj nanošenja premaza je razdvajanje metalne podloge i okoliša pa stoga oni moraju biti dovoljno postojani i trajni u uvjetima eksploatacije. Tako je i najvažnije tehničko svojstvo premaza njihova trajnost. Sustav zaštite premazima sastoji se obično od temeljnog sloja, jednog ili više međuslojeva te završnog sloja, od kojih svaki ima svoju ulogu. Općenito se može reći da je premaz materijal koji je nakon nanošenja na podlogu stvorio čvrsti film [1]. Što je zaštitni sloj manje porozan, nepropusniji i deblji, to je zaštitni efekt bolji.

Svaka boja ili premazno sredstvo je složena višekomponentna smjesa koja se sastoji od slijedećih komponenti [2]:

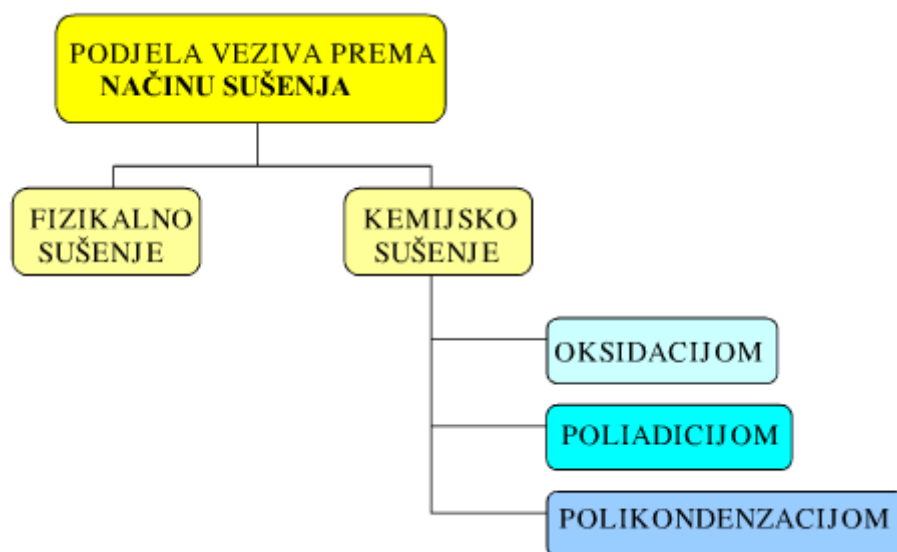
- veziva,
- pigmenti,
- punila,
- otapala,
- aditivi.

Svaka od navedenih komponenti ima vlastitu ulogu u premazu i određuje konačnu kvalitetu i primjenu premaza.

2.1 Veziva

Veziva su organske tvari u tekućem ili praškastom stanju koje povezuju sve komponente premaznog sredstva, a nakon nanošenja stvaraju tvrdi zaštitni sloj.

One nose najveći dio odgovornosti za mehanička i kemijska svojstva premaza. Dijelimo ih prema porijeklu na prirodna i umjetna veziva, no češća je podjela prema načinu sušenja. Na slici 1 prikazana je podjela veziva.



Slika 1. Podjela veziva prema načinu sušenja [3]

Postoji i podjela prema kemijskim spojevima koji ih tvore. Pa tako postoje veziva na osnovi prirodnih smola, prirodnog i sintetičkog kaučuka, derivata celuloze, sušivih masnih ulja, poliplasta i bituminoznih tvari.

Prirodna sušiva ulja spadaju u najstarija veziva. Po kemijskom sastavu to su esteri glicerola i masnih (karboksilnih kiselina), među kojima prevladavaju oni s dvostrukim vezama između atoma ugljika [4]. Najčešće su to laneno, sojino, tungovo i kokosovo ulje. Te boje imaju nisku viskoznost i pogodne su za nanošenje konvencionalnim metodama mazanjem, valjanjem, štrcanjem i umakanjem. Žilavi su i ograničeno postojani u atmosferi, ali su meki, neotporni na visoke temperature i nepostojani u lužnatim i organskim otapalima pri trajnom uranjanju. Također imaju relativno dugo vrijeme sušenja pa zbog tih nedostataka zaostaju za današnjim vezivima [5].

Alkidne smole su najraširenija poliplastična veziva. To su reakcijski proizvodi poliola, masnih i dibazičnih kiselina. Čisti alkidni naliči nisu sušivi na zraku, pa ih nakon isparavanja treba peći pri 120-200 °C radi kemijskog otvrdnjavanja [4]. Alkidi se vrlo često modificiraju drugim vezivima, kao što su polusušiva i nesusiva ulja, poliuretani, epoksidne smole i dr. Čisti alkidi daju tvrde i glatke prevlake, otporne do 120 °C i postoje u atmosferi i slatkoj vodi. Dodavanjem masnih ulja prevlaka postaje mekša i žilavija, tj. otpornija na udarce i savijanje. Modificiranje epoksidnim smolama, poliuretanima i akrilatima povećava postojanost u slabo kiselim i slabo lužnatim otopinama. Alkidne smole imaju najveću primjenu u premazima za opću upotrebu zbog svojstva zračnog sušenja i dobre sposobnosti mazanja.

Epoksidne smole su polieteri viševalentnih alkohola i fenola koji sadrže etilenoksidne (epoksidne ili oksiranske) prstene i slobodne OH-skupine, što omogućuje njihovo katalitičko ili termičko otvrdnjavanje daljnjim povećanjem i umrežavanjem makromolekula, pri čemu sudjeluju drugi fenoli, amini, poliamidi i poliuretani [4]. Upotrebljavaju se u jednokomponentnim premazima koji se peku i neki od njih su vodorazrjeđivi, kao i u dvokomponentnim premazima koji otvrdnjavaju pečenjem ili katalitički. Postojani su u atmosferi i vodi, kiselim i lužnatim vodenim otopinama, u organskim otapalima i u tlu i podnose temperature do 120 °C. Prednosti su im dobro prijanjanje na sve podloge, čvrsti su i glatki, a dodatkom katrana povećava im se žilavost. Nedostak epoksidnih smola je što su na suncu skloni kredanju (površinskoj pojavi prašine zbog raspada veziva pod utjecajem ultraljubičastih zraka), čime se smanjuje otpornost na trošenje trenjem i kvari se estetski izgled površine. Primjenjuju se u temeljnim premazima, međuslojnim premazima i u ambalažnim lakovima zbog mogućnosti jednoslojnog lakiranja.

Poliuretani (PUR) su smole koje nastaju u reakcijama između organskih spojeva s izocijanatnim radikalima i viševalentnih fenola, alkohola i drugih organskih spojeva. Premazi na osnovi poliuretana su jednokomponentni, a najčešće dvokomponentni koji su kvalitetniji jer otvrdnjavanjem tvore opne s lijepim izgledom (tj. s nijansom i sjajem) postoje na suncu, otporne na abraziju i na temperature do 170 °C. U ovisnosti o sastavu svojstva poliuretanskih prevlaka znatno variraju, pa mogu biti meke i rastezljive, nešto tvrđe i taljive pri grijanju, odnosno tvrde i netaljive nakon katalitičkog ili toplinskog otvrdnjavanja. Prevlake su postoje u atmosferi i vodi, u kiselim i lužnatim vodenim otopinama i u organskim otapalima [5]. Poliuretani se nanose na metalne i nemetalne podloge.

Vinilne smole su termoplastični polimeri na osnovi monomera od supstituiranog etilena. Tu spadaju vinilklorid, vinilacetat, vinildeklorid, vinilfluorid itd. Vinilne smole često se modificiraju dodavanjem poliestera, alkida, akrilata, fenoplasta, aminoplasta, epoksida i bitumena u svrhu poboljšanja svojstava. Mnoga se vinilna veziva primjenjuju u disperznim premaznim sredstvima, u kojima nisu otopljena nego samo raspršena u vodi, organskim otapalima ili omekšivačima. Vinilni se premazi nanose na metale i nemetale. Sušenje takvih premaza je isparavanjem otapala, a prednosti su im: postojanost u atmosferi, vodi, kiselim i lužnatim oksidativnim otopinama. Nedostatak im je neotpornost na visoke temperature koja se može smanjiti povećanjem udjela fluora i klora [5].

Zasićene poliesterske smole su kondenzacijski proizvodi difunkcionalnih ili polifunkcionalnih monomera s hidroksilnom i karboksilnom grupom. Prednosti ovih smola je odlična ravnoteža između tvrdoće i elastičnosti, dobro prijanjanje na podlogu te su otporne na sterilizaciju pa time zadovoljavaju propise za prehrambenu industriju. Primjenjuju se i u autoindustriji u metalik lakovima i kod dosta zahtjevnih lakova za kućanske aparate [5].

Nezasićene poliesterske smole nastaju sintezom nezasićenih dikarbonskih kiselina s divalentnim alkoholima. Suše se uz dodatak parafinskog voska, zračno, UV sušenjem ili s ubrzivačima. Primjenjuju se za visokokvalitetne kitove u sustavu zaštite vozila [5].

Fenolne smole su kondenzacijski proizvodi fenola i formaldehida. Jedna od najstarijih sintetskih veziva. Imaju dobra mehanička svojstva i kemijsku otpornost, a nedostatak im je žuta do smeđa boja pa su neprimjenjive za svijetle i bijele premaze.

Derivati celuloze su nitroceluloza, acetilceluloza i celulozni acetobutirat. Naliči nastaju isparavanjem otapala. Dobro prijanjaju na podlogu, imaju visoku tvrdoću i dobru podnošljivost s brojnim vrstama veziva. Nedostatak im je niska elastičnost filma, neotpornost na kemikalije i otapala, na UV zrake.

Amino smole su fenoplasti i aminoplasti. Amino smole su duromerna veziva čiji su premazi krhki pa se redovito modificiraju sa sušivim uljima, vinilnim i akrilatnim smolama. Takvi premazi otporni su na mehaničko trošenje i na temperaturu (čak preko 300 °C),

nezapaljivi su, postojani u atmosferi, vodi i neoksidativnim kiselim i lužnatim otopinama. Nedostaci su im sklonost tamnjenju, kredanje i žućkaste su boje.

Silikonske smole temelje se na vrlo stabilnoj siloksan ili polisipoksan anorganskoj vezi. Prednosti su im trajnost, vodoodbojnost, paropropusnost i odlična toplinska stabilnost (i do 600 °C).

Bitumeni i katranske smole potječu iz nafte (bitumeni), odnosno iz ugljenog katrana (katranske smole). Sve su te tvari crne ili tamnosmeđe, pa nije moguća njihova primjena za premaze svjetlijih nijansi. Suše se isparavanjem otapala, čvrsto prijanjaju na metale i građevinske materijale, postojani su u vodi i tlu te u slabo kiselim i slabo lužnatim otopinama, ali su otporni samo između -10 i 40 °C i nepostojani su u organskim otapalima. Pri nižim temperaturama su krhki, a pri višim meki i ljepljivi. Primjenjuju se zbog niske cijene za zaštitu krovova, podova, silosa, itd. [5].

2.2 Pigmenti

Pigmenti su netopive organske ili anorganske tvari koje selektivno apsorbiraju svjetlost, a posljedica toga je određena boja koju daju premazima. Pigmenti mogu biti dekorativni, antikorozijski i dekorativno-antikorozijski. Dekorativni je učinak važan samo za pokrivne premaze, a antikorozijski i za temeljne i za pokrivne kao i za međupremaze. Uloga pigmenata je da premaze čine neprozirnim, da poboljšaju mehanička i zaštitna svojstva premaza, te njihovu kemijsku i termičku postojanost. Zaštitno djelovanje može biti: pasivirajuće, inhibitorско, neutralizirajuće, djelovanje katodnom zaštitom [6].

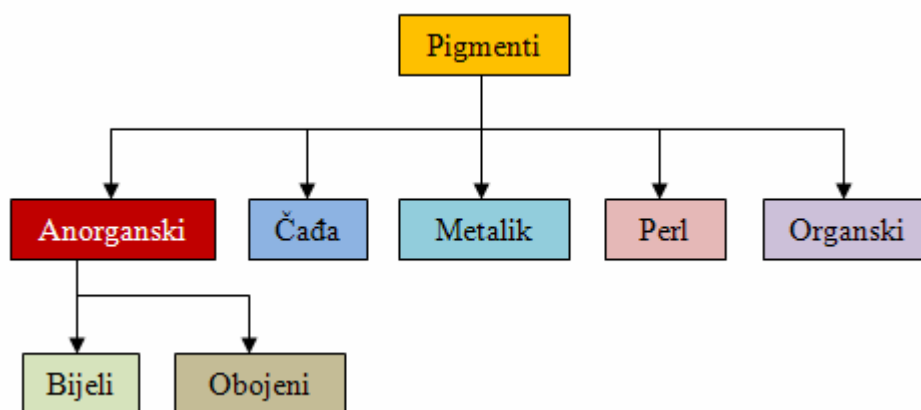
Pasivirajuće djelovanje na metal imaju pigmenti oksidirajućih svojstava koji na metalnoj površini stvaraju pasivni oksidni sloj.

Inhibitorsko djelovanje se temelji na reakciji između pigmenta i veziva ili između pigmenta i okoline pri čemu nastaje inhibitor korozije.

Neutralizirajuće djelovanje se temelji na lužnatim svojstvima pigmenta koji neutralizira kiselinu iz okoline.

Katodnu zaštitu omogućuju samo metalni pigmenti čiji je elektrodni potencijal negativniji od potencijala metala koji se štiti.

Na slici 2 prikazana je podjela pigmenata.



Slika 2. Shematski prikaz podjele pigmenata [3]

2.3 Punila

Jeftini pigmenti se nazivaju **punilima**. To su praškaste tvari anorganskog podrijetla koje smanjuju poroznost, ali i cijenu finalnom proizvodu. U boje se dodaju uglavnom radi kontrole reoloških svojstava, kao ugušćivači, za sniženje ili povišenje sjaja, za poboljšanje mehaničkih svojstava, za poboljšanje mazivosti ili svojstva tečenja, za povećanje otpornosti na trošenje, čvrstoće prijanjanja, itd. Najpoznatija punila su barit, kreda i silikati.

2.4 Otapala

Otapala ili razrjeđivači su organski spojevi u kojima se otapa vezivo, ali pritom ne dolazi do kemijskih promjena. Upotrebljavaju se za postizanje određene viskoznosti zaštitnih sredstava, tako da se mogu jednostavno nanijeti na metalnu površinu.

Djelimo ih u tri skupine [3]:

1. Ugljikovodici
 - alifatski ugljikovodici,
 - aromatski ugljikovodici,
 - trepeni.
2. Derivati ugljikovodika s kisikom
 - alokoholi,
 - esteri,
 - ketoni,
 - glikoli.
3. Klorirani ugljikovodici

Koriste se u bojama i lakovima. Nakon nanošenja premaznog sredstva na podlogu, otapala isparuju, a nanese sloj se na podlozi skrućuje stvarajući čvrstu prevlaku. Možemo primjenjivati i specijalne dodatke koji imaju funkciju da povećaju stabilnost prema utjecaju kisika iz zraka i elastičnost, ubrzaju sušenje te da uspore starenje premaza.

Prije nego se odluči koristiti neko otapalo potrebno je obratiti pozornost na slijedeće čimbenike:

- hlapivost,
- vrelište ili destilacijski interval,
- sposobnost otapanja,
- cijena,
- točka plamišta,
- otrovnost.

2.5 Aditivi

Aditivi su dodaci premazima koji unatoč svom neznatnom udjelu imaju veliki utjecaj na svojstva samog premaza. Dodajemo ih da bi smanjili ili u potpunosti spriječili neke određene nedostatke u premazima kao što su npr. sedimentacija i pjena ili da se dobiju neka specifična svojstva kao što je klizavost. S obzirom na obveznu kakvoću i zahtjeve u vidu zaštite okoliša u proizvodnji i primjeni premaza u svim su premazima aditivi nezaobilazne komponente. Nekoć su se koristili samo za korekciju pojedinih šarži boja kod kojih se nisu mogli postići određeni zahtjevi. Danas se oni uzimaju u obzir već kod kreiranja novih receptura i pripadaju osnovnim konstituentima premaza. Pooštrenje zakonskih regulativa zahtjeva nove aditive.

Prema nedostatku na kojeg djeluju dijelimo ih na slijedeće skupine:

- korozijski inhibitori,
- okvašivači i disperzanti,
- svjetlosni stabilizatori,
- reološki aditivi,
- konzervansi,
- antipjenici,
- sušila i katalizatori,
- aditivi za poboljšanje izgleda površine.

3. TEHNOLOGIJA PRIPREME POVRŠINE ZA NANOŠENJE PREMAZA

Da bi premaz zadovoljio sve ili barem dio određenih zahtjeva (prionjivost na podlogu, otpornost na trošenje, otpornost na mehaničke i vremenske utjecaje, elastičnost, kemijska inertnost, kompaktnost, nepropustljivost za korozijske čimbenike, minimalna apsorpcija i dekorativnost), nužno je poznavati tehnologiju nanošenja premaza. Ako se tehnološki postupak nanošenja premaza ne provede kako treba, ne može se postići željeni zaštitni učinak iako je odabran optimalni premazni sustav. Nužno je odabrati optimalni sustav nanošenja premaza te nabaviti opremu za njegovo provođenje te adekvatnom kontrolom osigurati zahtijevanu kvalitetu. Kvalitetna priprema podloga obavlja se mnogim mehaničkim, kemijskim, elektrokemijskim i termičkim metodama.

3.1 Priprema površine

Postupci koji se upotrebljavaju za pripremu površine su [7]:

- odmašćivanje,
- odmašćivanje mlazom vodene pare,
- ručno mehaničko čišćenje,
- strojno čišćenje,
- vodeno pjeskarenje,
- čišćenje mlazom abraziva.

3.1.1. Odmašćivanje

Odmašćivanjem odstranjujemo mineralne i biološke masne tvari koje se nakupljaju na površini. Nakupljanje se događa kod mehaničke obrade (glodanje, tokarenje, brušenje, itd.) ili kod plastične deformacije prilikom hlađenja i podmazivanja obratka. Odmašćivanjem otklanjamo i masne privremene prevlake za zaštitu od korozije. Također obradak se zamašćuje prilikom rukovanja masnim rukama. Odmašćivanje se vrši pomoću razrjeđivača trljanjem naopljenom pamučnom tkaninom ili uranjanjem obradaka (jednokratno ili višekratno) u razrjeđivač, zatim odmašćivanje prskanjem, parno i ultrazvučno odmašćivanje, odmašćivanje lužnatim otopinama. Parno odmašćivanje provodi se izlaganjem obratka parama otapala koja se kondenzira na obratku i otapa masnoće. Kod ultrazvučnog odmašćivanja u otapalo je uronjen ultrazvučni vibrator koji proizvodi izmjeničnu

ekspanziju. Odmašćivanje lužnatim otopinama provodi se pri temperaturama od 50 do 100 °C uranjanjem 3 do 10 minuta ili prskanjem do 3 minute.

3.1.2 Odmašćivanje mlazom vodene pare

Postupak odmašćivanja vodenom parom temelji se na mehaničkom učinku kapljica iz mlaza pri sudaru sa masnom površinom i na grijanju masnih tvari kondenzacijom pare i dodirrom s vrelom vodom te je posljedica toga otapanje i cijedenje masnih tvari s obratka. Smjesa vodene pare i vode proizvodi se u kotlovima grijanjem vode na temperaturu iznad 150 °C. Ovim postupkom odmašćuju se veoma prljavi predmeti na čijim su površinama osim masnoće prisutne i druge prljavštine. Potpunost odmašćivanja ispituje se vodenim testom pri ispiranju. Voda kvasi odmašćene površine tvoreći neprekinuti film koji se zadržava barem 30 sekundi. Ako se voda povlači s dijela površine nastajanjem suhih otoka, ili ako se skuplja u kapljice, površina je još uvijek masna.

3.1.3. Ručno mehaničko čišćenje

Ručno mehaničko čišćenje koristi se za uklanjanje stare boje, hrđe ili kamenca. To je spora metoda čišćenja i koristi se samo na manjim predmetima. Alati za ručno mehaničko čišćenje su strugala, abrazivi na različitim podlogama, žičane četke, dljeteta, itd.

3.1.4. Strojno mehaničko čišćenje

Strojno mehaničko čišćenje brže je od ručnog čišćenja. Koriste se električni i pneumatski uređaji, a alati su rotacijske četke, brusni alati u obliku kolutova, ploča, valjaka ili profilirani. Brusni alati nakon istrošenja i zapunjenja mogu se obnoviti brušenjem, tj skidanjem površinskog sloja brusa oslobađaju se nova brusna zrnca.

3.1.5. Vodeno pjeskarenje

Vodeno pjeskarenje je tehnika čišćenja koja se temelji na energiji vode koja udarajući po površini obratka postiže efekt čišćenja. Vrlo je prihvatljiv sa ekološke strane jer se ne koriste abrazivna sredstva. Vodenim pjeskarenjem uklanjaju se stare boje, naslage hrđe, kamenac, okujina i druge nečistoće. Tlakovi su iznad 700 bara (High pressure water jetting) i iznad 1700 bara (Ultra high pressure water jetting). Nakon vodenog pjeskarenja poželjno je da se obradci suše toplim zrakom. Nedostatak vodenog pjeskarenja je što ugljični čelici u dodiru sa vodom korodiraju pa se često u vodu dodaju inhibitori koji sprječavaju korodiranje površine.

3.1.6. Čišćenje mlazom abraziva

Čišćenje mlazom abraziva temelji se na kinetičkoj energiji suhog ili mokrog mlaza čestica koja se u trenutku sudara pretvara u mehanički učinak. Time se čisti površina od nečistoća te se može postići određena hrapavost površine. Za obradu mlazom koriste se čestice od kremenog pijeska, zrnca elektrokorunda i silicijeva, borova te volframova karbida, sačma od ugljičnog ili nehrđajućeg čelika, bijelog ili kovkastog lijeva, valjčići dobiveni sjeckanjem hladno vučene čelične žice i dr. Obrada mlazom pijeska naziva se pjeskarenje ili sačmarenje. Mlaz čestica dobiva se pneumatski suhim ili mokrim postupkom, centrifugalnim suhim ili mokrim postupkom ili hidrauličkim postupkom.

Suhi mlaz se dobiva pneumatskim ili centrifugalnim raspršivanjem čestica veličine 0,2 do 3 mm. Za pneumatski postupak služi zrak pod tlakom između 0,3 i 0,7 MPa. Za centrifugalni postupak mlaz se stvara na obodu kotača s lopaticama koji se okreće brzinom iznad 50 m/s. Mana suhog mlaza jest obilje prašine koja se stvara tokom pjeskarenja.

Pri obradi mokrim mlazom ne razvija se prašina, a mogu se primjenjivati mnogo sitnije čestice (čak do 3 μm veličine). Vodi se često dodaju sredstva za kvašenje i inhibitori korozije. Osim pneumatskih pištolja, upotrebljavaju se i centrifugalni i hidraulični raspršivači za obradu mokrim mlazom. Poslije obrade mokrim mlazom čestica, predmeti se ispiru vodom i eventualno suše toplim zrakom. Suspenzija se vraća na ponovnu primjenu, ali je treba povremeno regenerirati.

Hidraulički postupak raspršivanja se primjenjuje samo za grublje i teže čestice koje se ne mogu suspendirati u vodi. Za tu svrhu služe tzv. hidrauličke glave (hidraulički pištolji) u kojima se sredstva za obradu uvode u brzu struju vode.

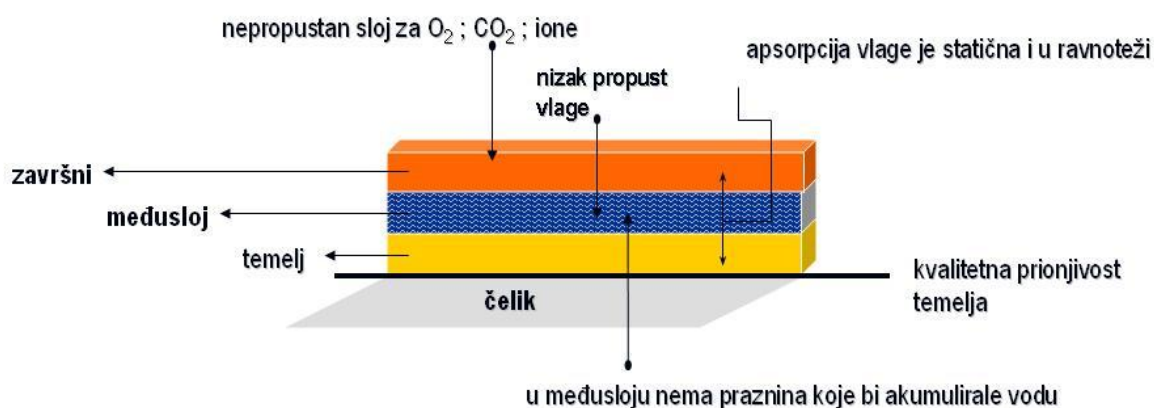
4. TEHNOLOGIJA NANOŠENJA PREMAZA

Nanošenje premaza obavlja se višeslojno uz prethodno potpuno ili djelomično sušenje prethodnog sloja. Temeljni premaz potrebno je nanijeti odmah nakon pripreme površine (poželjno još istog dana kada je priprema površine provedena). Veziva slojeva koji se dodiruju moraju biti istovrsna ili kompatibilna pa se preporuča cijeli premazni sustav izvesti sredstvima istog proizvođača.

Temeljni premaz je prvi sloj koji je nanesen na metalnu površinu. Glavna zadaća mu je osiguranje dobre prionjivosti između premaza i podloge. Ako temeljni premaz ne prijanja dobro na podlogu, narušena je funkcionalnost cijelog premaznog sustava. Priprema površine pomaže dobroj prionjivosti uklanjajući razne nečistoće i osiguravajući traženu hrapavost. Mnogi temeljni premazi za zaštitu čelika sadrže antikorozivne inhibirajuće ili inertne pigmente čime se zaštita od korozije dodatno pojačava.

Međuslojni premaz u sustavu pojačava zaštitna svojstva premaza stvarajući barijerni efekt. Često se koristi kada temeljni i završni sloj nisu međusobno kompatibilni. Međusloj je jeftiniji od temeljnog i završnog sloja pa se debljina između ostalog podešava i brojem međuslojeva.

Završni premaz poboljšava površinsku otpornost sustava zaštite od korozije premazima, te njegova mehanička i fizikalna svojstva. Osigurava ispunjenje zahtjeva za određenim nijansama, sjajem, glatkoćom. Na slici 3 prikazan je sustav zaštite čelika na osnovi nepropusnosti.



Slika 3. Sustav zaštite čelika na osnovi nepropusnosti [8]

Premazi se na podlogu nanose kistovima, lopaticama, valjcima, prskanjem, uranjanjem, prelijevanjem i elektroforezom.

Kistovi se sastoje od snopova životinjskih, biljnih ili sintetičkih vlakana. Nedostatak nanošenja premaza kistovima je niska produktivnost, pojava tragova (pruga) od kista što uzrokuje lokalnu neravnomjernost debljine premaza i djeluje neestetski. Prednost je brzina i mobilnost kod reparaturnih zahvata.

Lopatice služe za nanošenje kitova i premaza s velikim udjelom suhe tvari, tako da se dobiju debele prevlake, preko 0,1 mm.

Valjci za ličenje su mnogo produktivniji od četkanja i veoma su pogodni za nanošenje boja na čelične ploče i trake. Valjci se izrađuju od vune ili drugih vlakana različite dužine.

povišenoj temperaturi, bezračnim i elektrostatičkim postupkom.

Kod zračnog prskanja se upotrebljavaju pištolji u koje se jednim vodom uvodi zrak pod tlakom 0,12 do 0,5 MPa, a drugim vodom se uvodi premazno sredstvo koje se pod utjecajem zraka raspršuje na površinu. Nedostatak ovog postupka je veliki gubitak boje koji iznosi od 20 do 50 %. Glavna je prednost zračnog prskanja ravnomjerna debljina prevlake, njen visoko estetski dojam i visoka produktivnost. Slika 4 prikazuje primjer prskanja boje komprimiranim zrakom.



Slika 4. Prskanje komprimiranim zrakom [9]

Bezračno prskanje je prskanje kod kojeg mlaz premaznog sredstva nastaje u pištolju bez miješanja sa zrakom. Može biti pneumatsko gdje se sredstvo potiskuje komprimiranim zrakom ili nekim plinom, ili hidrauličko gdje se koristi pumpa za boju. Tlak se kod ovog postupka kreće od 1-30 MPa. Prednost ovog postupka je veća produktivnost od zračnog prskanja, nije potrebna upotreba razrjeđivača i dobivaju se deblje prevlake, pa je ponekad moguće smanjiti broj slojeva. Na slici 5 prikazana je oprema za bezračno prskanje.



Slika 5. Oprema za bezračno prskanje [10]

Elektrostatičko prskanje boja temelji se na primjeni visokog napona (30-150 kV) između pištolja i obradaka koji su obješeni na uzemljeni prijenosnik (obično lančani konvejer).

Uranjanjem se premazi nanose na manje, jednostavne obratke koji se proizvode u velikim serijama. Prednost je mali gubitak boja, ali je nemoguće postići prevlake jednolične debljine na kompliciranim dijelovima.

Preljevanje je postupak koji je pogodan za veće predmete (npr. rešetkaste i rebraste) po čijim se površinama premazi lako razlijevaju. Gubici su mali jer se boje koje se nisu primile na obradak skupljaju u spremnike koji se nalaze ispod obradaka.

Elektroforeza služi za nanošenje premaza na metal u vodenim disperzijama ili otopinama premaza, u kojima postoje pozitivno i negativno nabijene čestice polimernog veziva s pigmentom ili bez njega, pri čemu je voda suprotno nabijena. U istosmjernom električnom polju čestice premaza putuje prema suprotno nabijenom obratku, a voda u obrnutom smjeru. Rezultat toga je skoro suhi sloj premaza na površini metala. Postupak traje

1-5 min nakon čega se dobivaju prevlake jednolične debljine. Za razrjeđivanje se koristi čista (deionizirana) voda. Postupak je pogodan samo za temeljne premaze debljine 20-35 μm [4].

4.1. Greške u premazima i njihovi uzroci

Pod greškama u premazima podrazumijevaju se različiti nedostaci i oblici propadanja premaza.

Najčešći uzroci grešaka u premazima su [11]:

- pogrešan izbor premaza,
- sastav premaza,
- nanošenje u neodgovarajućim uvjetima,
- defekti koji se manifestiraju lošom prionjivošću,
- loše nanošenje premaza,
- nedostatak nadzora i kontrole kvalitete.

4.1.1. Pogrešan izbor premaza

Prijevremeno propadanje premaza može se javiti kao posljedica pogrešno odabranog premaza. Odabrani premaz može biti neodgovarajući za površinu na koju se treba nanositi. Pojedini premazi u sustavu mogu biti nekompatibilni kao što i odabrani zaštitni sustav može biti neodgovarajući za kategoriju korozivnosti, očekivani vijek trajanja ili uvjete eksploatacije [11]. U svakom slučaju, već prilikom samog odabira premaza treba voditi računa o navedenim faktorima.

4.1.2. Sastav premaza

Usprkos naporima da se premazi kvalitetno nanesu, greške se mogu pojaviti kao posljedica lošeg sastava, odnosno, formulacije premaza. Greške se mogu javiti zbog upotrijebljenih sirovina, njihove kombinacije, upotrijebljenih smola, pigmenata i otapala ili zbog upotrebe pogrešnih sastojaka [11]. Najčešće greške zbog lošeg sastava premaza su: pojava „narančine kore“, kredanje, pukotine i boranje.

„Narančina kora“ se javlja prilikom raspršivanja premaza sa previše isparljivim otapalom. Uslijed nemogućnosti da se premaz ravnomjerno razlije, po površini dolazi do nastajanja nepravilnih udubljenja tokom sušenja [11].

Kredanje je pojava praškastog sloja na površini premaza i posljedica je izloženosti sunčevoj svjetlosti i atmosferskim utjecajima. Do kredanja rijetko dolazi kod premaza koji su u sjeni. Reaktanti kao što su kisik, vlaga i razni drugi, pod djelovanjem sunčevih zraka, reagiraju sa vezivom, razaraju ga i dolazi do zaostajanja pigmenata na površini. Kredanje se može umanjiti korištenjem pigmenata koji štite vezivo od djelovanja sunčevih zraka [11].

Pukotine mogu biti raznih veličina, dubina i učestalosti. Posljedica su pojave naprezanja unutar samog premaza ili naprezanja između premaza i podloge. Nagli pad temperature ili nanošenje tvrdog premaza preko mekog premaza može dovesti do toga da se površinski sloj više skuplja od sloja ispod njega. Pukotine nastale na ovaj način obično ne prodiru do podloge. Ukoliko se javi naprezanje između premaza i podloge (npr. uslijed različitog ponašanja pri temperaturnim promjenama) pukotine mogu prodrijeti do podloge [11].

Boranje se javlja kada se premaz nanese u sloju debljem od odgovarajućeg. Rezultat je širenja premaza za vrijeme sušenja i to tako što se površina premaza širi brže od dijela premaza ispod. Boranje izaziva višak sikativa koji ubrzavaju sušenje. Značajno povećanje temperature, također, može izazvati boranje zato što s površina puno brže suši, odnosno veže od premaza ispod [11].

4.1.3. Nanošenje u neodgovarajućim uvjetima

Iako proizvođači uz svoje premaze obično daju i podatke vezane za vremenske uvjete koji trebaju biti ispunjeni za vrijeme nanošenja premaza, često se dešava da se nanošenje premaza provodi u neodgovarajućim uvjetima. Bilo da se radi o rokovima za završetak radova ili čistoj nepažnji, posljedice su brojne i često se ne mogu ukloniti osim potpunim uklanjanjem nanesenog premaza i nanošenjem novog. Nanošenje premaza po kiši, snijegu ili mrazu može dovesti do gubitka sjaja, jak vjetar može dovesti do zaprljanosti premaza raznim česticama, vlaga, vlažno vrijeme ili loša ventilacija u zatvorenom prostoru mogu izazvati zamućenost. [11].

4.1.4. Greške koje se manifestiraju kroz lošu prionjivost

Prionjivost za podlogu i između slojeva je među najvažnijim karakteristikama premaza. Dugotrajna zaštita je nemoguća bez dobre prionjivosti premaza. Loša prionjivost se iskazuje u pojavi bubrenja, ljuštenja i odslojavanja [11].

Bubrenje mogu izazvati mnogi uzroci. Za bubrenje je karakteristično da nastaje na

mjestima gdje je prionjivost najslabija. Mjehuri mogu biti manji ili veći, usamljeni ili grupirani, ali zajedničko im je da rastu, zahvaćaju sve veću površinu dovode do odvajanja i oštećenja premaza. Kada se otvore mogu sadržavati tekućinu ili biti suhi. Stanje mjehura može ukazati na razlog njegovog nastanka. Neki od uzroka pojave mjehura su: prisutnost vlage ili drugih isparavanja, korištenje hidroskopskih pigmenata, nekompatibilnost premaza (npr. nanošenje visoko kvalitetnih premaza preko univerzalnog alkidnog temelja). U posljednjem slučaju otapalo iz visoko kvalitetnog premaza podiže, odvaja temeljni premaz od podloge [11].

Odslojavanje je gubitak prionjivosti između premaza i podloge ili između slojeva u višeslojnim sustavu. Za slučaj odvajanja premaza od podloge gotovo uvijek je uzrok loša priprema površine (vlažna podloga ili podloga zaprljana prašinom, tragovima ulja, masti ili drugih kemikalija). Odslojavanje između slojeva može se javiti kao posljedica nekompatibilnosti premaza. Za neke premaze kao što su epoksidi, katran-epoksidi i poliuretani nanošenje premaza preko potpuno vezanog prethodnog sloja može dovesti do odslojavanja [11].

4.1.5. Loše nanošenje premaza

Pogrešan način nanošenja premaza je uzrok čije se posljedice u vidu grešaka najbrže uočavaju. Neki tipični defekti koji su posljedica lošeg nanošenja su: neodgovarajuća debljina, „ubodi igle“ (pinholes), „overspray“, nebojene površine, krateri („riblje oči“) i pojava „curaka“. Skoro sve greške uslijed lošeg nanošenja mogu se pripisati nepažnji ili neobučenosti radnika koji premaze nanose [11].

Neodgovarajuća debljina. Za svaki sloj u sustavu definirana je nominalna debljina suhog filma. Kako manje, tako i veće debljine od propisane mogu izazvati različite neželjene pojave. Manja debljina od propisane dovodi do pojave korozije, tj. skraćuje se vijek trajanja premaza. Debljine veće od propisanih osim većeg utroška premaza, utječu i na pojavu pukotina i boranja uslijed naprezanja koje se javlja prilikom vezivanja premaza. Također, u predebelom sloju premaza mogu zaostati određene količine otapala što može utjecati na sušenje, ali može dovesti i do pojave mjehuranja [11].

„*Ubodi igle*“ (pinholes) su male (vidljive) rupe u premazu koje najčešće nastaju kao posljedica držanja pištolja za raspršivanje previše blizu površine tako da dolazi do stvaranja ovog defekta [11].

„*Overspray*“ nastaje kada se pištolj za raspršivanje drži previše daleko od površine. Premaz se osuši prije nego što stigne na podlogu. Posljedica je hrapava površina koja slična

sloj prašine i slabo je vezana za već premazani sloj tako a predstavlja lošu podlogu za nanošenje slijedećeg sloja u sustavu [11].

Krateri (riblje oči) su mala ljevkasta udubljenja nasumično raspoređena po površini. Nastaju kao posljedica nanošenja premaza na površinu zaprljanu uljima ili zaprljanosti pištolja za raspršivanje [11].

Curci nastaju nanošenjem sloja premaza u debljini mnogo većoj od propisane. Za vrijeme sušenja nastaje karakterističan izgled zavjese, a debljina filma je neujednačena [11].

4.1.6. Nedostatak nadzora i kontrole kvalitete

Mnoge greške posljedica su nepažnje i nepridržavanja uputa. Kontrolom kvalitete premaza prije upotrebe i nadzorom nad izvođenjem radova greške se mogu uočiti prije ili prilikom nanošenja premaza prije nego što one postanu značajnije i dovedu do defekata [11].

5. NORMA ISO 12944

Norma ISO 12944 donesena je od strane Međunarodne organizacije za normizaciju (ISO) 1998. godine. Ovim standardom regulira se „Zaštita od korozije čeličnih konstrukcija zaštitnim sustavom boja“. Standard se sastoji od 8 dijelova koji idu u detalje u svakom pogledu zaštite od korozije [12]:

- osnovna načela,
- utjecaj okoline,
- procjena rješenja,
- tipovi površine i priprema površine,
- shema inicijalne zaštite i mjera održavanja,
- laboratorijska ispitivanja sustava premaza,
- izvršenje i nadzor rada,
- razvoj novih metoda zaštite i održavanja.

Premazi za zaštitu čeličnih konstrukcija od korozije koriste se u vrlo raznolikim područjima, poput tornjeva, hala, kontejnera, strojeva i opreme, potpornih i nosivih konstrukcija, fasada i tako dalje. Ovisno o ekološkim uvjetima, ti objekti su izloženi sasvim određenim korozivnim naprezanjima. Definirani u ISO 12944 dio 2, kao korozivne kategorije od C1 do C5-M. Stoga, nije jednostavno izabrati premazni sustav koji je optimalan iz tehničke i iz ekonomske točke gledišta. I veliki broj dostupnih sustava, uz opcije za kombiniranje temeljnih, srednjih i završnih premaza, dodatno otežava taj izbor [12].

Prilikom odabira premaznog sustava veoma je važno poznavati radne uvjete u kojima će objekti raditi. Tako prilikom odabira odgovarajućeg premaznog sustava treba uzeti u obzir:

- vlažnost i temperaturu okoline (radnu temperaturu i temperaturni raspon),
- prisutnost UV zračenja,
- izloženost kemikalijama,
- mehanička oštećenja (udarci, abrazivno trošenje, itd.) [13].

Svi navedeni čimbenici utječu na:

- vrstu premaza za zaštitu,
- ukupnu debljinu sloja premaza,
- potrebnu pripremu površine prije nanošenja premaza,
- minimalno i maksimalno vrijeme intervala ponovnog nanošenja premaza [13].

U tablici 1 prikazane su korozivne kategorije određene u standardu ISO 12944.

Tablica 1. Korozivne kategorije određene normom ISO 12944 [12]

Korozivne kategorije za atmosferske uvjete okoliša i primjeri karakterističnih okruženja u skladu sa ISO 12944, Dio 2						
Kategorija korozivnosti	Gubitak mase po jed. površine / smanjenje debljine (nakon prve godine starenja)				Primjeri karakterističnih okruženja U umjerenoj klimi	
	Nelegirani čelik		Cink		Vani	Unutra
	Gubitak mase u g/m²	Smanjenje debljine u µm	Gubitak mase u g/m²	Smanjenje debljine u µm		
C1 beznačajna	≤ 10	≤ 1.3	≤ 0.7	≤ 0.1		Grijane zgrade s neutralnom atmosferom, kao uredi, trgovine, škole, hoteli...
C2 blaga	> 10 do 200	> 1.3 do 25	> 0.7 do 5	> 0.1 do 0.7	Atmofere s niskom razinom onečišćenja, uglavnom ruralna područja.	Negrijani objekti gdje može doći do kondenzacije, kao npr. skladišta, sportske dvorane.
C3 umjerena	> 200 do 400	> 25 do 50	> 5 do 15	> 0.7 do 2.1	Urbana i industrijska atmosfera, umjerena zagađena sumpornim dioksidom. Obalna područja niske slanosti.	Proizvodni prostori visoke vlažnosti i atmosferskih onečišćenja, kao što su npr. pogoni za proizvodnju hrane, praonice, pivovare i mljekare.
C4 teška	> 400 do 650	> 50 do 80	>15 do 30	> 2.1 do 4.2	Industrijska i obalna područja umjerene slanosti.	Kemijska postrojenja, bazeni, brodske nadstrešnice iznad morske vode.
C5-I vrlo teška (industrijska)	> 650 do 1500	> 80 do 200	> 30 do 60	> 4.2 do 8.4	Industrijska područja visoke vlažnosti i agresivne atmosfere.	Građevine ili područja s gotovo konstantnom kondenzacijom i vrlo teškim onečišćenjem.
C5-M vrlo teška (more)	> 650 do 1500	> 80 do 200	> 30 do 60	> 4.2 do 8.4	Obalna i morska područja visoke slanosti	Građevine ili područja s gotovo konstantnom kondenzacijom i vrlo teškim onečišćenjem.

Radni vijek premaznog sustava je pretpostavljeno vrijeme koje premazni sustav mora izdržati bez većih promjena svojstava premaza do prvog održavanja nakon nanošenja premaza, tj. vrijeme do slijedećeg nanošenja novog premaza.

U tablici 2 prikazane su tri osnovne kategorije trajanja premaznog sustava određenog normom ISO 12944.

Tablica 2. Trajanje premaznog sustava određeno normom ISO 12944

Nisko (L = low)	2 do 5 godina
Srednje (M = medium)	5 do 15 godina
Visoko (H = high)	Više od 15 godina

6. VODORAZRJEDIVI PREMAZI

6.1. Povijesni pregled razvoja vodorazrjedivih premaza

Već 1950-tih bio je predstavljen za zaštitu od korozije vodorazrjedivi anorganski cink silikat. Proizvod nije doživio veliki proboj na tržište, ali i danas imamo neke cjevovode u Australiji koji su već više od 40 godina zaštićeni ovim sustavom i dalje su u izvrsnom stanju, bez hrđe. Vodorazrjedivi premazi na bazi alkida počeli su se istraživati također 1950-tih, međutim u industrijske svrhe su došle modificirane alkidne emulzije tek 1990-tih. U ranim šezdesetima počeli su se razvijati vodorazrjedivi premazi na bazi akrila za zaštitu metala. Akrilna tehnika je dodatno poboljšana 1970-tih i iz tog vremena postoje i danas dobro zaštićeni rezervoari za skladištenje koji su zaštićeni ovim premazima. 1973. godine. „Anchor Chemicals“ predstavlja prvu generaciju epoksi vodorazrjedivih premaza. Boje temeljene na ovoj vrsti epoksida imale su ozbiljna ograničenja i zbog toga su bile korištene u ograničenom opsegu za zaštitu od korozije. Nakon 20 godina usavršavanja dobila se formulacija koja se pokazala istovjetnom sa epoksi smolama na bazi otapala osvajajući stalno nova tržišta. Od sredine 1980-tih pojavljuje se prva generacija vodorazrjedivih dvokomponentnih poliuretanskih boja koje su bile bitno poboljšane tijekom 90-tih.

Tijekom posljednjih 10 godina pokrenuto je mnogo novih tehnologija vodorazrjedivih boja kao što su cinkom bogati epoksidi, 2-K akrili, epoksi-esteri, poliesteri, butadien stiren, uretani i drugi. Određeni tip veziva prvenstveno ovisi o namjeni boje. Alkidna i akrilna veziva se posebno često upotrebljavaju u automobilskoj industriji. Kada se traži posebno dobra korozijska otpornost i dobre karakteristike premaza upotrebljavaju se epoksi vodene otopine kao temeljni premaz na koje još dolazi završni poliuretanski sloj itd. [14].

6.2. Uvod

U novije se vrijeme teži sniženju udjela zapaljivih, eksplozivnih i otrovnih otapala u premazu te zamjeni premaza na bazi otapala ekološkim premazima. Naime, otapala su organski spojevi niske molekulske mase koji su lako hlapljivi i koji tijekom formiranja filma onečišćuju okoliš i zagađuju atmosferu [1]. Visoko reaktivni produkti razgradnje organskih otapala reagiraju s ispušnim plinovima iz automobila i tvornica (prije svega dušikovim oksidima) te nastaju spojevi koji djeluju na lokalnu klimu, uzrokuju nastanak ozona te štetno djeluju na metabolizam živih organizama. Visoka razina ozona može oštetiti oči te prouzročiti

probleme s disanjem, prije svega kod starijih i bolesnih osoba. Tako su organska otapala, još prije nekoliko godina, zbog štetnog djelovanja na okoliš i zdravlje ljudi prepoznata kao veliki ekološki problem.

Premazi na kojima se intenzivno radi i koji se danas smatraju ekološkim su [15]:

- premazi sa visokom suhom tvari,
- praškasti premazi,
- premazi koji otvrdnjavaju zračenjem,
- vodotopivi i vodorazrjeđivi premazi.

U tablici 3 prikazane su različite kategorije premaza prema postotku sadržaja otapala u premazu.

Tablica 3. Sadržaj otapala kod različitih tipova premaza [16]

Kategorija premaza	Sadržaj otapala (%)
Vodorazrjeđivi premazi	< 20
Praškasti premazi	0
Premazi sa visokim udjelom suhe tvari	< 30
Premazi sa niskim udjelom otapala	< 10
Konvencionalni premazi	40 do 70

Ako se ima u vidu raznolikost tehnoloških uvjeta nanošenja, raznovrsnost konstrukcijskih karakteristika artikala kod kojih se primjenjuje i druge namjenske specifičnosti, izbor se svodi na vodorazrjeđive premaze. To su premazi niže molekulske mase, čije otapalo ima nezagađujuće svojstvo i kojima se reducira otpuštanje štetnih spojeva u atmosferu. Isto tako, doneseni su brojni propisi kojima se nastoji smanjiti emisija štetnih tvari u okoliš, prije svega smanjenjem korištenja organskih otapala. Zbog ozbiljnosti situacije, propisi o dozvoljenoj količini emisija štetnih tvari u okoliš bivaju sve stroži, kontrole sve intenzivnije, a pritisak na smanjenje organskih otapala povećava se i porastom cijena otapala.

Osim što predstavljaju ekološki vrlo prihvatljivu skupinu premaza, jer umjesto otapala koriste vodu, koja ima očite prednosti u nezapaljivosti i neotrovnosti, vodorazrjeđivi premazi pružaju vrlo dobru antikorozivnu zaštitu. Danas se vodorazrjeđivi premazi koriste za bojenje raznih čeličnih konstrukcija, mostova, spremnika, transportnih kontejnera, auto-dijelova,

poljoprivrednih strojeva, metalnog namještaja, raznih spremnika, željezničkih vagona, a novije vrste vodorazrjedivih premaza mogu se koristiti i za zaštitu u veoma agresivnim sredinama (za zaštitu postrojenja za naftu i plin, spremnika, morskih i kemijskih postrojenja, za zaštitu u graditeljstvu).

Međutim, vodorazrjedive premaze treba još uvijek usavršavati. Iako većina vodorazrjedivih premaza pruža vrlo dobru zaštitu od korozije i u agresivnijim sredinama, ta zaštita još uvijek nije na razini koju pružaju konvencionalni premazi na bazi otapala.

6.3. Vrste vodorazrjedivih premaza

Klasifikacija vodorazrjedivih premaza zasniva se na tome kako je vezivo fluidizirano. Postoje tri glavne vrste:

- vodene otopine,
- vodene emulzije (lateks),
- vodene disperzije.

6.3.1. Vodene otopine

Kod vodenih otopina se molekule vodotopivog veziva kompletno rastapaju u vodi. Njihova veziva se dobivaju polimerizacijom ili polikondenzacijom u organskom mediju. Posljedica je ta da veziva sadrže organska pomoćna otapala kao što su alkoholi, glikol-eteri i druga otapala koja sadrže kisik, a topiva su ili se miješaju s vodom. Takva veziva sadrže između 10-15% organskih pomoćnih otapala. Vodotopive boje imaju relativno nizak sadržaj suhe tvari (30- 40 masenih udjela) i zahtijevaju relativno veliku količinu organskih otapala (do 15 %) da se osigura vodotopivost i stvaranje filma. Prednost kojom se ističu je široko područje sušenja (fizikalno, oksidativno, pri povišenoj temperaturi) i širok niz mogućnosti primjene (uranjanje, polijevanje, štrcanje, elektrotaloženje) [3].

6.3.2. Vodene emulzije

Emulzije ili lateks boje su slične vodenim disperzijama. Veziva u emulziji imaju tendenciju stvaranja nakupina i zbog toga je potreban emulgator da drži nakupine u suspenziji. Proizvode se koristeći razna veziva uključujući butadien-stiren kopolimer,

polivinil acetata, akril, alkide i polistiren. Povećana propustljivost lateks boja omogućava im da „dišu“ smanjujući šansu za stvaranje mjehura i ljuštenje [3].

6.3.3. Vodene disperzije

Vodne disperzije su vodorazrijedivi sustavi od disperzija polimernih čestica u vodi. Čestice su polimeri visoke molekularne mase (stiren, butadien, akrilat). Te disperzije sadrže i malu količinu otapala koja služe kao stvaraoci filma, a koja djelomično hlape sušenjem. Mehanizam stvaranja lateksa, iako predmet intenzivnih studija još nije u potpunosti razjašnjen [3].

Tri su faze postupka stvaranja filma:

1. Hlapljenje vode i vodotopivih otapala koji ostavljaju gusto pakirani sloj lateks čestica
2. Deformacija čestica iz njihovog sfernog oblika što ima za posljedicu kontinuirani ali slabi film
3. Koalescencija – relativno spor proces u kojem se polimerne molekule raspršuju i stvaraju mrežu čime se jača film. Veoma je važna minimalna temperatura stvaranja filma, tj. najniža temperatura pri kojoj koalescent dovoljno djeluje da stvori film. Najvažniji čimbenik kontrole minimalne temperature stvaranja filma T_s (temperatura staklenja) polimera u česticama. Većina boja ovog tipa formira filmove koalescencijom pri sobnoj temperaturi [3].

6.4. Prednosti i nedostaci vodorazrijedivih premaza

Prednosti [17]:

- smanjena emisija hlapljivih organskih spojeva u okoliš,
- primjena konvencionalnih postupaka nanošenja,
- smanjena otrovnost i miris,
- povećana sigurnost i udobnost radnika,
- dobro vrijeme skladištenja,
- jednostavno čišćenje alata,

- minimalan opasni otpad,
- imaju jako dobre površine,
- nesklonost žućenju filma,
- mala zapaljivost,
- ostaci osušene boje mogu se odložiti kao bezopasan otpad,
- mogućnost primjene na različitim materijalima,
- kraći međupremazni interval,
- manji troškovi zbrinjavanja opasnog otpada.

Nedostaci [17]:

- imaju tendenciju da se pjene,
- zahtijevaju čistu površinu za visokokvalitetnu aplikaciju (površine trebaju biti očišćene od prašine i ulja),
- zahtijevaju povišene temperature pečenja ili dulje vrijeme sušenja,
- poteškoće pri dobivanju visokog sjaja,
- visoka cijena,
- linije za proizvodnju i posude za skladištenje trebaju biti od plastike ili nehrđajućeg čelika,
- dodavanjem istog ili jačeg otapala moguće je otopiti film,
- osjetljivi su na visoku vlagu,
- zahtijevaju kontroliranu vlažnost i temperaturu aplikacije,
- osjetljivi su na temperaturu nanošenja,
- ograničenja u upotrebi pod vodom,
- smanjena korozijska otpornost prema agresivnim medijima.

6.5. Skladištenje, upotreba i nanošenje vodorazrijedivih premaza

Da bi izbjegli koroziju, vodorazrijedive premaze uglavnom smještamo u plastične posude, a ne u čelične. Zbog potrebe dobivanja određene viskoznosti kod vodorazrijedivih

premaza treba se koristiti demineralizirana voda s antibakterijskim aditivima. Nikako se ne preporučuje upotreba obične vode. Kod mješanja treba izbjegavati miješalice jer one uzrokuju pjenjenje koje bi otežalo samu primjenu. Vodorazrjedinive boje su jako osjetljive na temperature skladištenja i podložne su smrzavanju. Problemi sa temperaturom se mogu javiti i kod transporta pa se vrlo često koriste grijani kamioni.

Kod nanošenja vodorazrjedinivih boja postoje velike sličnosti s bojama na bazi otapala, no potrebno se držati i nekih posebnih pravila kako bi krajnji rezultat bio zadovoljavajući. Većina pištolja za prskanje može se koristiti i za vodorazrjedinive boje samo treba voditi računa da su izrađeni od nehrđajućeg čelika i plastičnih dijelova kako bi se izbjegla korozija. Također treba voditi računa da su pogodni za čišćenje jer može doći do međusobne kontaminacije ako se isti pištolj koristi i za vodorazrjedinive i za boje na bazi otapala. Da se to ne dogodi potrebno je pomno čišćenje pribora između korištenja za jednu, pa potom za drugu vrstu boje. Nakon nanošenja npr vodorazrjedinivog temeljnog sloja ili među sloja pištolji se moraju očistiti prvo sa vodom, a zatim isprati sa otapalom ili samo potpuno ukloniti svu preostalu vodu.

6.6. Vodorazrjedinivi premazi s aspekta zdravlja i sigurnosti

Vodorazrjedinivi premazi nisu bez hlapivih organskih otapala. Imaju niže razine toksina i slabije su eksplozivni, no nisu i bezopasni. Potrebno je kod aplikacije koristiti osobnu sigurnosnu opremu, te slijediti preporuke o sigurnosti iz "data sheet"-a. Radnici koji koriste vodorazrjedinive boje trebaju biti educirani za sigurnu upotrebu, skladištenje i odlaganje vodorazrjedinivih materijala. Propisi o emisiji hlapivih organskih spojeva svakim danom su sve stroži i postavljaju sve teže zahtjeve na sve koji se sa premazima susreću, počevši od proizvođača, trgovaca do krajnjih korisnika.

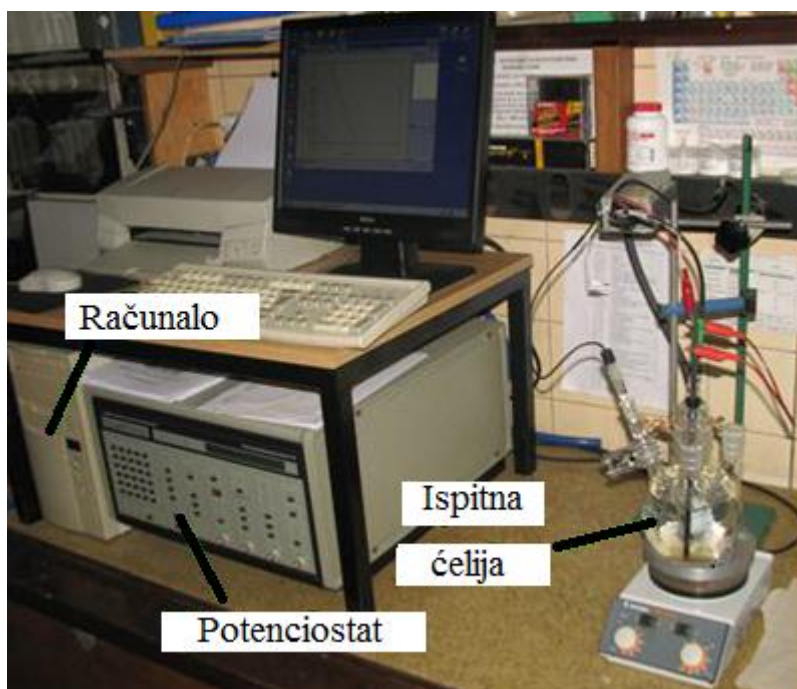
7. EKSPERIMENTALNI DIO

7.3. Elektrokemijsko ispitivanje

U eksperimentalnom dijelu rada, elektrokemijskom metodom kvazi-potenciostatske polarizacije, odnosno metodom Tafelove ekstrapolacije te snimanjem polarizacijskih krivulja bilo je potrebno odrediti korozijski potencijal E_{kor} i brzinu korozije čeličnih uzoraka zaštićenih vodorazjedinim premazima u 3% otopini NaCl.

Ispitivanja su provedena na uređaju Potenciostat/Galvanostat Model 273A EG&E uz primjenu programa SoftCorr III u Laboratoriju za zaštitu materijala, FSB. Temperatura 3% NaCl otopine tijekom ispitivanja bila je $(24 \pm 1) ^\circ\text{C}$.

Potenciostat je elektronski uređaj koji omogućuje praćenje parametara korozije te iznosa struje i napona za vrijeme ispitivanja. Oprema za elektrokemijsko ispitivanje prikazana je na slici 6.



Slika 6. . Oprema za elektrokemijsko ispitivanje [18]

Ispitivanja se provode u staklenoj ćeliji oblikovanoj tako da svaka elektroda ima svoje ležište. Radna elektroda je uzorak koji ispitujemo te su normom određene dimenzije tog uzorka ($\varnothing 16 \text{ mm}$), što odgovara veličini držača radne elektrode. Površina tog uzorka je 1 cm^2 i ta površina je izložena elektrolitu. Referentna elektroda je elektroda poznatog potencijala

koja ne sudjeluje u strujnom krugu već se pomoću nje samo mjeri potencijal radne elektrode. Kao referentna elektroda koristi se zasićena kalomel elektroda (ZKE) potencijala $+0,241\text{ V}$ u odnosu na vodikovu elektrodu.

U strujnom krugu nalaze se dvije protuelektrode između kojih je simetrično postavljena radna elektroda. Protuelektrode su izrađene od materijala dobre vodljivosti, u ovom slučaju od grafita, koji uz to mora biti dovoljno otporan kako ne bi došlo do otapanja. Na slici 7 prikazana je elektrokemijska ćelija.



Slika 7. Elektrokemijska ćelija [18]

7.4. Priprema uzoraka za elektrokemijsko ispitivanje

Svi uzorci bili su unaprijed pripremljeni i spremni za ispitivanje. Uzorak A1 nije bio zaštićen premazom, već je djelovanju medija bila izložena površina ugljičnog čelika Fe360B (Č.0370) radi utvrđivanja referentnih vrijednosti nezaštićenog čelika. Uzorak B1 je bio čelik zaštićen vodorazrjedivim premazom osušenim na $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, uzorak B2 je čelik zaštićen vodorazrjedivim premazom osušenim na $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ i uzorak B3 je također bio čelik zaštićen vodorazrjedivim premazom osušenim na $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na slici 8 dan je prikaz uzoraka prije ispitivanja.



Slika 8. Uzorci prije ispitivanja [18]

Ispitivanja su provedena na uzorku A1, zatim na uzorku B1, B2 i naposljetku na uzorku B3. Na svakom pojedinom uzorku provedena su 3 ispitivanja.

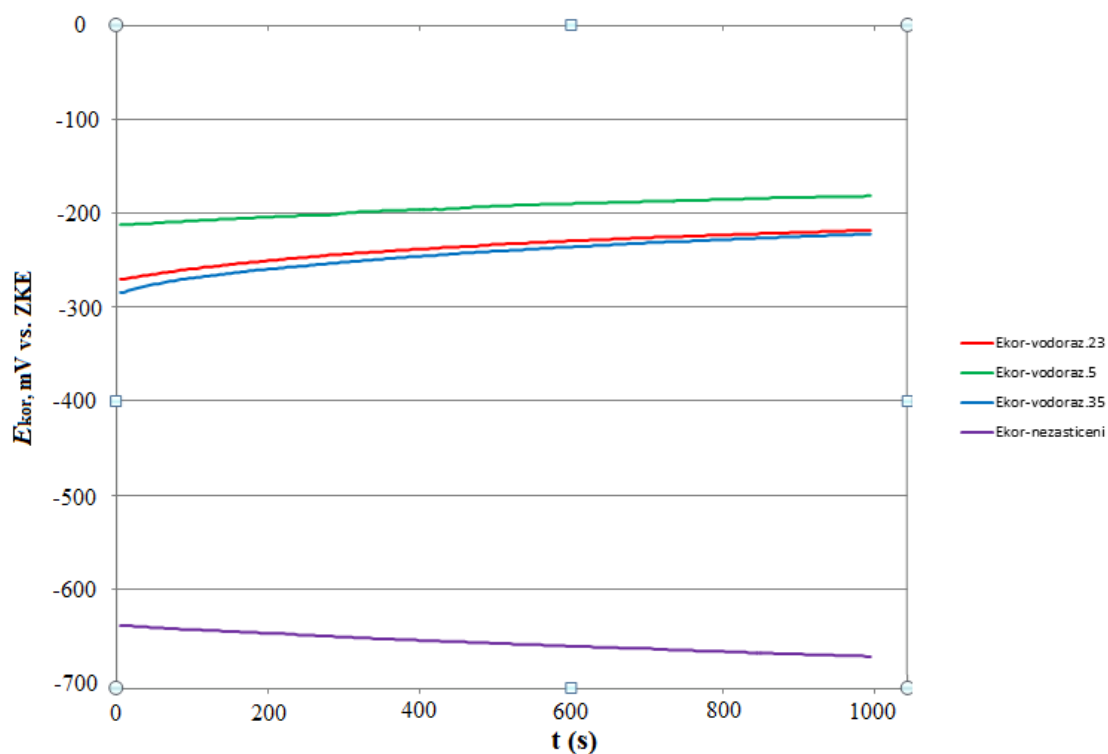
7.5. Snimanje krivulja E_{kor} u ovisnosti o vremenu

Korozijski potencijal je jedinstvena vrijednost za svaki sustav metal-elektrolit i označava vrijednost potencijala pri kojemu su brzine odvijanja anodne i katodne reakcije jednake. Poznato je da brzine anodne i katodne reakcije ovise jedna o drugoj. Ako se smanji jedna od ovih dviju reakcija smanjuje se i ukupna brzina korozije. Ako se u određenom vremenskom roku vrijednosti potencijala mijenjaju od negativnijeg prema pozitivnijem, znači da dolazi do spontane pasivacije uzorka. Ako se vrijednosti potencijala ne mijenjaju ili se one s vremenom kreću prema negativnijim vrijednostima, znači da dolazi do razaranja materijala i ubrzane korozije. Vrijeme trajanja ispitivanja iznosilo je 16 minuta. U tablici 4 dane su vrijednosti korozijskog potencijala E_{kor} za ispitivane uzorke.

Tablica 4. Vrijednosti korozijskog potencijala E_{kor}

Uzorak	E_{kor} vs. ZKE [mV]
A1	-672
B1	-181
B2	-218
B3	-222

Vrijednosti korozijskog potencijala za sva četiri uzorka prikazani su na slici 9.



Slika 9. Prikaz korozijskog potencijala uzoraka u ovisnosti o vremenu [18]

7.6. Snimanje krivulja linearne polarizacije

Linearnom polarizacijom određuje se polarizacijski otpor materijala (R_p) odnosno otpor prolazu elektroaktivnih čestica iz metala u elektrolit i obratno. Što je iznos polarizacijskog otpora viši, veća je stabilnost elektrode (uzorka) za zadani medij. Iznos polarizacijskog otpora određuje se postavljanjem tangente na krivulju dobivenu linearnom polarizacijom, a iznos otpora jednak je omjeru narinutog potencijala i jakosti struje. Metodom linearne polarizacije snima se područje ± 20 mV oko korozijskog potencijala brzinom od 0,166 mV/s. Vrijednosti polarizacijskog otpora R_p dane su u tablici 5.

Tablica 5. Vrijednosti polarizacijskog otpora R_p

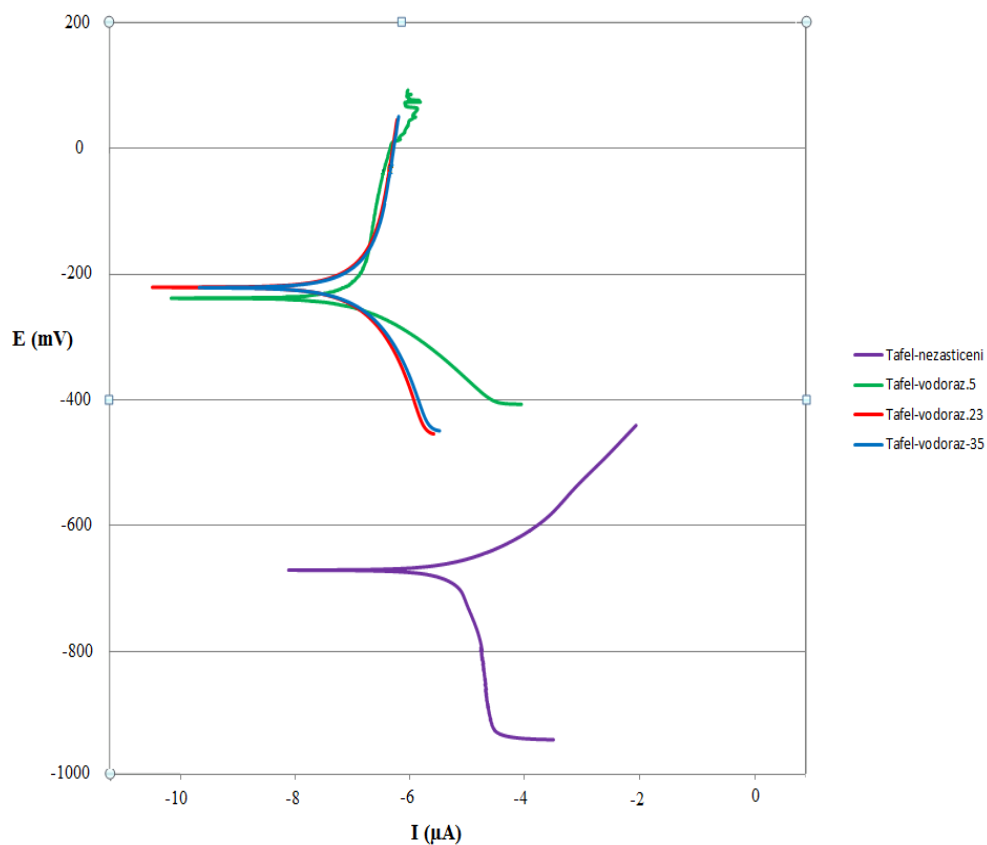
Uzorak	R_p [$k\Omega/cm^2$]
A1	1,5
B1	112,9
B2	106,9
B3	92,01

7.7. Snimanje Tafelove krivulje

Treće ispitivanje je bila metoda Tafelove ekstrapolacije u svrhu određivanja gustoće struje (j_{kor}) i brzine korozije (v_{kor}). Kod ovog ispitivanja snima se anodna i katodna polarizacija ± 250 mV oko korozijskog potencijala brzinom od 0,166 mV/s. Povećanjem brzine snimanja smanjujemo vrijeme ispitivanja, ali manjom brzinom osiguravamo veću količinu podataka i krivulju visoke rezolucije. U tablici 6 dane su vrijednosti korozijskih parametara izračunatih iz Tafelovih krivulja sa slike 10.

Tablica 6. Vrijednosti korozijskih parametara

Uzorak	E_{kor} vs ZKE [mV]	j_{kor} [$\mu A/cm^2$]	β_a [V/dek]	β_b [V/dek]	v_{kor} [mm/god]
A1	-670,5	14,43	0,078	1,143	0,137
B1	-237,8	0,354	1,438	0,088	0,004
B2	-220,9	1,151	3,135	0,468	0,013
B3	-221,5	1,049	3,778	0,386	0,012



Slika 10. Prikaz anodno-katodnih krivulja polarizacije[18]

Nakon ispitivanja na uzorku A1 vidljivi su tragovi korozije dok na ostalim uzorcima nema tragova korozije. Stanje uzoraka nakon ispitivanja prikazano je na slici 11.



Slika 11. Uzorci nakon ispitivanja [18]

7.6 Analiza rezultata

Podaci dobiveni ispitivanjem obrađeni su u Microsoft Excel-u i ti podaci su prikazani u 2 grafa od kojih jedan prikazuje međusobni odnos potencijala korozije uzoraka (slika 9), a drugi prikazuje Tafelove krivulje za sva četiri uzorka (slika 10). Iz grafova je vidljivo da sve krivulje za uzorak A1 (nezaštićeni ugljični čelik) bitno odstupaju od krivulja ostalih uzoraka.

Provedenim ispitivanjem u eksperimentalnom dijelu rada uspoređeno je ponašanje nezaštićenog ugljičnog čelika i ugljičnog čelika zaštićenog vodorazdjedivim premazom sušenim na 3 različite temperature.

Rezultati su pokazali da za uzorak A1 (nezaštićeni čelik) korozijski potencijal postaje negativniji duljim držanjem uzorka u elektrolitu. To nam ukazuje da se metal otapa u elektrolitu. Što je korozijski potencijal negativniji, to se metal lakše otapa. Linearnom polarizacijom izmjeren je polarizacijski otpor koji je za nezaštićeni čelik vrlo nizak ($R_p=1,5 \text{ k}\Omega$). Sve ispod $100 \text{ k}\Omega$ smatra se niskim polarizacijskim otporom. Tafelovom ekstrapolacijom izmjerena je velika brzina korozije, čak $0,137 \text{ mm/god}$.

Rezultati za B1, B2 i B3 uzorak pokazali su da je nanošenjem vodorazrjedivog premaza korozijski potencijal znatno pozitivniji u odnosu na uzorak A1. Također se može uočiti da duljim držanjem u elektrolitu korozijski potencijal postaje pozitivniji što je svojstvo pasivacije. Također, polarizacijski otpori za sva tri uzorka su mnogo veći od uzorka A1.

Ipak, najbolja svojstva je pokazao uzorak B1 (vodorazrjedivi premaz osušen na $5 \text{ }^\circ\text{C}$). U odnosu na ostale uzorke, taj uzorak ima napozitivniji korozijski potencijal, najviši otpor polarizacije, samim time i najnižu gustoću struje i najmanju brzinu korozije. Brzina korozije ($v_{\text{kor}}= 0,004 \text{ mm/god}$) je čak tri puta manja od brzine korozije uzoraka B2 i B3. Uzorci B2 u B3 pokazali su međusobno slična svojstva. To je vidljivo po podacima iz tablice 6, ali i iz grafova gde im se krivulje praktički poklapaju.

8. ZAKLJUČAK

Iz vrijednosti korozijskih parametara dobivenih elektrokemijskim ispitivanjima može se zaključiti da vodorazrjedivi premazi pružaju zadovoljavajuća svojstva zaštite te se mogu koristiti u određenim uvjetima eksploatacije.

Prema dobivenim brzinama korozije uzoraka zaključuje se da se vodorazrjedivi premazi mogu koristiti u blagim korozijskim sredinama, tj. spadaju u C2 korozijsku sredinu (uglavnom ruralna područja) prema normi ISO 12944 prikazanu u tablici 1.

Vodorazrjedivi premazi imaju sve veću primjenu pa nije rijetkost da sve više proizvođača u automobilskoj industriji upotrebljavaju vodorazrjedive premaze za zaštitu automobila i transportnih vozila. Transportna vozila ovdje se odnosi primjerice na vatrogasna vozila. Vatrogasna vozila predviđena su za rad u teškim uvjetima pa samim time moraju ispunjavati određene zahtjeve i norme.

Vodorazrjedivi premazi se mogu upotrebiti kod zaštite vatrogasnih vozila na određenim dijelovima vozila kao što su kabina, vrata spremišta alata, spremište alata, podvozje i ostali dijelovi koji nemaju veliki utjecaj na sigurnost i praktičnost vozila.

Svi dijelovi koji služe za kretanje po vozilu i prihvat kao što su stepenice, držači, krov, pod kabine i ostalo mora biti zaštićeno posebnim premazom plastike i pijeska koji osigurava protuklizna svojstva.

9. LITERATURA:

- [1] Alar V., Stojanović I., Mihalić I: Zaštita ugljičnog čelika vodorazrjedivim premazima, YuCorr 2010, Tara, Srbija, 2010.
- [2] Vaupotić R.: Suvremeni trendovi u razvoju premaza za zaštitu strojarških i drugih konstrukcija od korozije, Seminar-Zaštita od korozije primjenom premaza, FSB, Zagreb, 2007.
- [3] Rački-Weihnacht N.: Boje i lakovi - jučer danas sutra, Chromos boje i lakovi d.d., Zagreb, 2004.
- [4] Esih I. , Dugi Z.: Osnove površinske zaštite, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003.
- [5] Lambourne R., Paint and Coatings Science and Technology, SAD, 1987.
- [6] Stupnišek-Lisac E.: Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala, FKIT, Zagreb, 2007.
- [7] Cramer S.D., Covino B.S.: ASM Handbook – Volume 13A, Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection, Materials park, Ohio, 2000.
- [8] Munger, C.G.: Corrosion prevention by Protective Coatings, NACE, Houston, 1999.
- [9] Dostupno na: <http://www.lantrain.co.uk/paint&body.html> ,15.1.2013.
- [10] Dostupno na: http://www.truscomfg.com/motorized_stripers.html ,18.1.2013.
- [11] Đusić M., Defekti u premazima, mogući uzroci, XIX Simpozij o koroziji i zaštiti materijala, Tara, Srbija, 2004.
- [12] Dostupno na: <http://www.hrv.sika.com/dms/getdocument.../Antikorozivna-zatita-elinih-.pdf> , 28.1.2013.
- [13] Dostupno na: <http://pdfreownload.com/pdf/how-to-select-the-right-paint-system-29745327.html> , 28.1.2013.
- [14] Dostupno na: <http://www.p2pays.org/ref/01/00777/alternat.htm> , 28.1.2013.
- [15] Vaupotić R., Rački-Weihnacht N., Suvremeni trendovi u razvoju premaza za zaštitu premaza, HDZZM, 2007.
- [16] Nikolov S., Industrija premaznih sredstava-ekologija i pravci razvoja, XIX Simpozij o koroziji i zaštiti materijala, Tara, 2004.
- [17] Dostupno na: <http://www.p2pays.org/ref/01/00777/alternat.htm> , 28.1.2013.
- [18] Vlastita arhiva fotografija

10. PRILOZI:

1. CD-R disk